

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 534.773

Порхун  
Максим Игоревич

Моделирование слуховых патологий и методы их коррекции на основе  
субполосной обработки звукового сигнала

### **АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-40 80 01 Элементы и устройства вычислительной  
техники и систем управления

Научный руководитель:  
Вашкевич Максим Иосифович  
Доцент, кандидат технических наук

Минск 2019

## **ВВЕДЕНИЕ**

Потеря слуха является актуальной проблемой в современном обществе и находится в центре внимания множества учёных, поскольку в последние годы наметилась тенденция к увеличению числа людей, страдающих от разной степени потери слуха.

В современном мире существует большое количество разнообразных слуховых аппаратов. Однако около 20% пользователей слуховых аппаратов не в полной мере удовлетворены качеством их работы.

Таким образом, разработка эффективных методов коррекции слуха, использующихся в слуховых аппаратах, является весьма важной и актуальной задачей.

Несмотря на то, что за последние годы были разработаны различные методы и системы моделирования слуховых патологий, ни один из этих методов не получил широкого распространения. При этом использование подобных методов на практике не воспринимается всерьёз, хотя эффективный метод моделирования потери слуха может обеспечить реалистичную демонстрацию как коммуникативных, так и психосоциальных эффектов нарушения слуха.

Процесс моделирования слуховых патологий даёт представление о природе и динамике их развития, что в свою очередь обеспечивает возможность оперативно корректировать их путём применения различных методов улучшения разборчивости звуков в слуховых аппаратах.

Основной задачей метода моделирования потери слуха является оценка эффективности различных способов коррекции слуха. На основе модели потери слуха можно показать людям с нормальным слухом как тугоухий человек воспринимает окружающую акустическую среду. При помощи подобного метода также можно предоставить людям информацию о рисках ухудшения слуха и методах его защиты, доступных для его минимизации.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

В современном мире наблюдается рост числа людей страдающих разной степенью потери слуха. Это в свою очередь вызывает необходимость разработки методов коррекции слуха. В рамках данного направления встаёт вопрос о моделировании слуховых патологий.

Данный процесс поможет лучше понять природу и динамику их развития, что в обеспечит возможность оперативно корректировать их путём применения различных методов улучшения разборчивости звуков в слуховых

аппаратах. Существует ряд методов моделирования потери слуха, однако не все из них могут настраиваться под слух конкретного человека и учитывают лишь некоторые аспекты восприятия звука при нарушении слуха.

Несмотря на распространённость методов коррекции слуха и разного рода слуховых аппаратов, около 20% пользователей не в полной мере удовлетворены качеством их работы. Тугоухий человек, как правило, не способен воспринимать высокочастотные звуки, при этом сохраняя возможность слышать низкочастотные звуки.

### **Цель и задачи исследования**

**Целью** данного исследования является разработка методов моделирования и коррекции слуховых патологий. В соответствии с поставленной целью в работе сформулированы и решены следующие **задачи**:

- 1) разработать метод моделирования слуховых патологий на основе субполосной обработки звуковых сигналов;
- 2) разработать метод коррекции слуховых патологий на основе переноса частот в речевом сигнале;
- 3) экспериментально проверить эффективность метода коррекции слуховых патологий на основе метода моделирования потери слуха.

**Объектом** исследования выступают слуховые патологии.

**Предметами** исследования являются методы моделирования и коррекции слуховых патологий.

**Область исследования и содержание** диссертационной работы соответствуют образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-40 80 01 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в разработке и экспериментальном исследовании методов моделирования и коррекции слуховых патологий, использующих современные психоакустически мотивированные методы цифровой обработки сигналов. В данной работе используются концепции субполосной и блочной обработки сигналов, применяется банк фильтров, согласованный с работой слуховой системы человека, используются компрессоры динамического диапазона, настраиваемые согласно аудиограмме тугоухого человека. Коррекция слуховых патологий выполняется согласно концепции переноса частот в речевом сигнале с последующим частотно-зависимым усилением сигнала в соответствии с характеристиками слуха тугоухого человека.

### **Положения, выносимые на защиту:**

- 1) метод моделирования слуховых патологий, основу которого составляют банк гамматон-фильтров и компрессоры динамического диапазона, настраиваемые согласно аудиограмме тугоухого человека;

2) метод коррекции слуховых патологий на основе переноса частот в речевом сигнале с последующим частотно-зависимым усилением;

3) экспериментальные исследования эффективности разработанного метода коррекции слуховых патологий на основе метода моделирования потери слуха.

### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: 20-я международная конференция «Цифровая обработка сигналов и её применение» (Москва, 2018); 54-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, 2018); 21-я международная конференция «Цифровая обработка сигналов и её применение» (Москва, 2019), 55-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, 2019).

### **Опубликованность результатов исследования**

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 4 печатные работы, в том числе 2 статьи и 2 тезиса в сборниках и материалах научных конференций.

### **Структура и объем диссертации**

Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 85 страниц. Работа содержит 7 таблиц, 43 рисунков. Библиографический список включает 58 наименований, графический материал включает 10 слайдов презентации (Приложение Б).

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы методов моделирования и коррекции слуха, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** проведён анализ современных методов и систем моделирования и коррекции слуховых патологий, выявлены их основные

достоинства и недостатки, а также сформулированы основные задачи исследования.

Основная цель методов моделирования потери слуха состоит в том, чтобы отобразить узкий динамический диапазон тугоухого человека в широкий динамический диапазон нормально слышащего человека. Модель потери слуха может быть использована как для демонстрации последствий потери слуха, так и для проверки эффективности методов коррекции слуха. Большинство современных методов моделирования потери слуха не пригодны для проверки методов коррекции слуха и в основном, носят чисто демонстрационный характер эффекта потери слуха.

Задачей методов коррекции слуха является частотно-зависимое усиление звука в соответствии с характеристиками слуха тугоухого человека. Однако простым усилением невозможно компенсировать потерю слуха при повреждении областей слуховой системы, отвечающих за восприятие высокочастотных звуков. Для этого применяются методы переноса либо компрессии спектра сигнала.

Во **второй главе** приведена структура метода моделирования потери слуха (рисунок 1), основанная на концепции субполосной обработки звукового сигнала, а также MATLAB-описание метода.

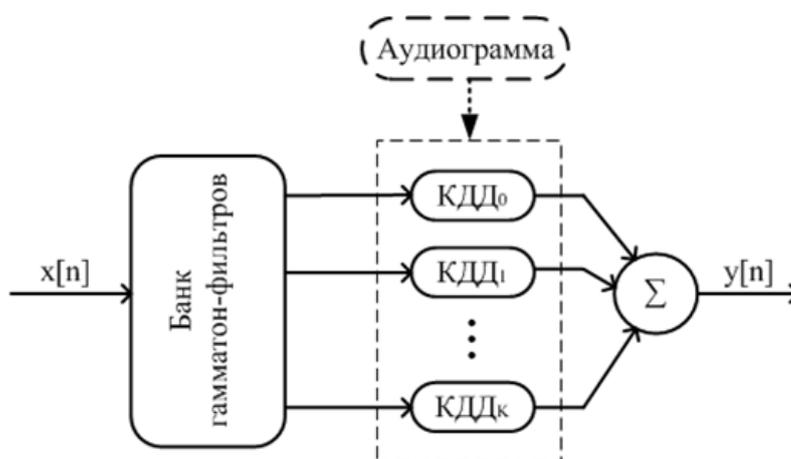


Рисунок 1 – Общая структура модели потери слуха

Суть метода заключается в частотно-зависимом ослаблении звукового сигнала в соответствии с аудиограммой тугоухого человека. Для разделения сигнала на субполосы используется банк гаммафон-фильтров, имитирующий механизм частотного разложения в ухе человека. Частотно зависимое ослабление сигнала выполняется при помощи компрессоров динамического диапазона, настраиваемых согласно характеристикам слуха тугоухого человека (аудиограмме). Выходной сигнал синтезируется путём суммирования обработанных субполосных компонентов сигнала.

В **третьей главе** описан разработанный метод коррекции слуховых патологий (рисунок 2), а также приведено его MATLAB-описание.

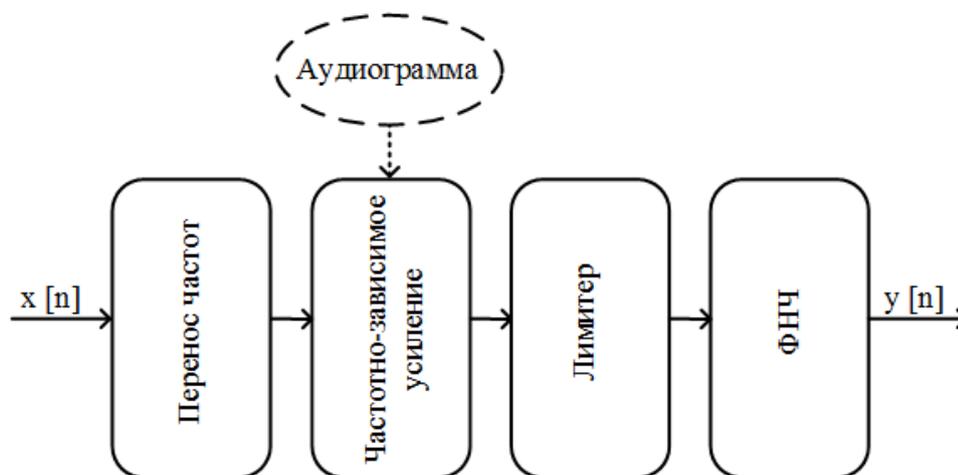


Рисунок 2 –Структура метода коррекции слуховых патологий

Метод коррекции слуха основан на переносе высокочастотных компонентов сигнала, зачастую не воспринимаемых тугоухим человеком, в низкочастотную область с последующим усилением, где он сохраняет возможность слышать. Для частотно-зависимого усиления сигнала применяется фильтр-корректор, характеристики которого определяются согласно аудиограмме тугоухого человека и формуле расчёта целевого усиления NAL-R. При усилении сигнала часто возникает эффект «пик-клиппирования», крайне негативно влияющий на разборчивость речи. С целью компенсации этого эффекта применяется ограничитель уровня сигнала в виде лимитера.

В **четвертой главе** представлены результаты экспериментальных исследований и MATLAB-моделирования предложенных методов моделирования и коррекции слуховых патологий.

MATLAB-моделирование подтверждает работоспособность данных методов.

Экспериментальное исследование эффективности разработанного метода коррекции слуха выполнено с применением метода моделирования слуховых патологий, на группе нормально слышащих людей. Результаты эксперимента показали, применение разработанного метода коррекции слуха увеличивает разборчивость речи, в среднем, на 6%. Максимальный показатель улучшения разборчивости речи составил 18% (рисунок 3).

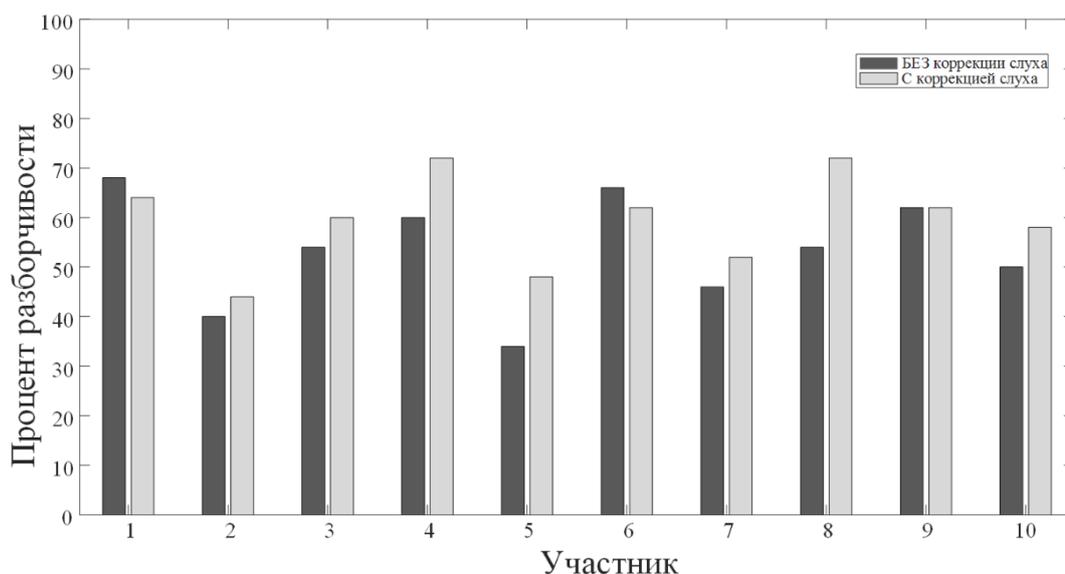


Рисунок 3 – Оценка разборчивости речи

Результаты экспериментов доказывают эффективность данного метода.

В **заклучении** сформулированы основные выводы касательно результатов исследовательской работы.

В **приложениях** представлен отчёт о проверке текста диссертационной работы на плагиат, графический материал и исходное описание разработанных методов моделирования и коррекции слуховых патологий в среде MATLAB.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен метод моделирования слуховых патологий, а также метод коррекции слуховых патологий. Разработаны и описаны алгоритмы реализации данных методов.

Основу модели потери слуха составляет метод субполосной обработки сигнала, основанный на согласованном с работой слуховой системы банке гамматон-фильтров, а также компрессоры динамического диапазона (КДД), настраиваемые по аудиограмме тугоухого человека. Применение КДД позволяет выполнять частотно-зависимое ослабление сигнала, в соответствии с характеристиками потери слуха.

Метод коррекции слуха заключается в переносе высокочастотных составляющих спектра сигнала, не воспринимаемых тугоухим человеком, в низкочастотную область, где он сохраняет возможность слышать. Для компенсации уровня громкости звука используется частотно-зависимое усиление компонентов сигнала при помощи фильтра-корректора, чьи параметры задаются согласно степени потери слуха и формуле расчёта

целевого усиления NAL-R. С целью уменьшения эффекта «пик-клиппинга», негативно влияющего на разборчивость речи, используется ограничитель уровня сигнала в виде лимитера.

Оба метода промоделированы в среде MATLAB. Результаты моделирования подтверждают их работоспособность.

В ходе проведения экспериментальных исследований предложенного метода коррекции слуховых патологий на основе модели потери слуха определена его эффективность. При использовании метода коррекции слуха разборчивость речи, в среднем, увеличилась на 6%, а в некоторых случаях на 10-18%, что доказывает эффективность данного метода.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

[1] Порхун М. И. Моделирование потери слуха / М.И. Порхун, М.И. Вашкевич // Цифровая обработка сигналов и ее применение: труды 20-й междунар. конф., Россия, Москва. – 2018. – Т. 1. – С. 228–233.

[2] Порхун М. И. Система моделирования эффекта потери слуха по аудиограмме / М. И. Порхун // Компьютерные системы и сети: материалы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск : БГУИР. – 2018. – С. 244 - 246.

[3] Порхун М. И. Перенос частот в речевом сигнале для коррекции слуховых патологий / М.И. Порхун, М.И. Вашкевич // Цифровая обработка сигналов и ее применение: труды 21-й междунар. конф., Россия, Москва. – 2019. – Т. 1. – С. 112–116.

[4] Порхун М. И. Метод компенсации уровня громкости при переносе частот в речевом сигнале / М. И. Порхун // Компьютерные системы и сети: материалы 55-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск : БГУИР. – 2019. – С. 278–280.